AIDE AU CHOIX DES CLASSES D'EXPOSITION POUR LES TRANCHÉES COUVERTES, GALERIES, CASQUETTES ET CAISSONS IMMERGÉS

Ouvrages visés

Les ouvrages visés par les tableaux ci-après comprennent les tranchées couvertes, galeries et casquettes, ainsi que les ouvrages constitués de caissons immergés. Les ouvrages de ventilation sont à traiter en s'appuyant sur les tableaux « ouvrages de génie civil ».

Mode d'emploi des tableaux

L'aide au choix des classes d'exposition est déclinée, pour les classes d'exposition liées aux risques de carbonatation, agression par les chlorures, gel-dégel et attaques chimiques, en quatre tableaux 1 à 4 ci-après portant en lignes les parties d'ouvrages, et en colonnes les risques considérés, avec pour certains risques différents niveaux de sévérité correspondant à des sous-colonnes.
Ces tableaux correspondent à quatre zones d'environnement (liées notamment à la localisation géographique de l'ouvrage) exclusives pour la France métropolitaine et la plupart des D.O.M./T.O.M. La définition de ces zones fait référence en particulier à la clause 4.2 (2) de l'annexe nationale de la norme NF EN 1992-1-1, en termes de distance à la côte et de sévérité du gel. Pour les quelques territoires soumis à la fois à un environnement maritime et au gel sévère il convient d'utiliser les indications des tableaux 1 ou 2 liés à l'environnement maritime pour les classes d'exposition XC et XS, et celles du tableau 4 lié à l'environnement en zone de gel sévère pour les autres classes, notamment XD et XF.
Dans l'aide au choix des classes d'exposition vis-à-vis du gel (XF), il est tenu compte des interprétations actualisées de la norme NF EN 206-1 en cours d'harmonisation avec les autres textes.
Note : Dans ces tableaux le tiret « - » indique que l'agression en question n'est pas à prendre en compte pour la partie d'ouvrage considérée.

Salage

En application de la clause 4.2 (2) de l'annexe nationale de la norme NF EN 1992-1-1 (notes 4 et 6) le choix de la classe XD1, XD2 ou XD3 se réfère non seulement à l'effet aggravant des cycles d'humidification / séchage, selon les indications du tableau 4.1 de la norme NF EN 1992-1-1, mais également à la fréquence de salage des chaussées. Le salage est considéré comme « peu fréquent » lorsque la moyenne annuelle du nombre de jours de salage estimée sur les 10 dernières années est inférieure à 10, « très fréquent » lorsqu'elle est supérieure ou égale à 30, et « fréquent » entre ces deux cas. Par analogie avec les dispositions issues de l'annexe nationale de la norme NF EN 1992-2 les parties extérieures d'ouvrages situées à moins de 6 m (horizontalement ou verticalement) d'une chaussée salée peuvent être considérées comme exposées ou très exposées aux projections de sels de déverglaçage, selon la fréquence du salage. Quelle que soit la fréquence de salage des routes et la zone géographique, certaines parties d'ouvrages peuvent ne pas être exposées aux effets du salage, on considèrera alors pour ces parties d'ouvrages la colonne « salage peu fréquent ».

Prévention de la réaction sulfatique interne

Un cinquième tableau complète l'aide au choix des classes d'exposition. Il est associé à la prévention de la réaction sulfatique interne, en application du guide technique « Recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne » publié par le LCPC en août 2007. Ce guide précise en effet :
« la norme NF EN 206-1 ne définissant pas de classe d'exposition adaptée à la réaction sulfatique interne, trois classes complémentaires XH1, XH2 et XH3 sont introduites… et doivent êtres spécifiées au CCTP pour chaque partie d'ouvrage. … Les spécifications définies (dans le guide en question pour la prévention de la RSI) devront être prises en compte en complément de celles imposées par la norme NF EN 206-1. »
Par analogie avec la démarche de prévention de l'alcali-réaction, le niveau de prévention, et donc les précautions à mettre en œuvre, est associé non seulement à la classe d'exposition XH1, XH2 ou XH3, mais également au choix d'une catégorie d'ouvrage ou d'élément d'ouvrage, I, II ou III, qui relève de la responsabilité du maître d'ouvrage et dépend « de la nature de l'ouvrage, de sa destination, des conséquences des désordres sur la sécurité souhaitée, et de son entretien ultérieur ». La catégorie II comprend « les éléments porteurs de la plupart des bâtiments et les ouvrages de génie civil (dont les ponts courants) » et la catégorie III « les barrages, les tunnels, et les bâtiments réacteurs des centrales nucléaires et aéroréfrigérants », tandis que la catégorie I comprend « les éléments aisément remplaçables ».
Le tableau 5 ci-après intègre cette notion pour aider au choix du niveau de prévention.

Précision importante

Dans tous les tableaux qui suivent les classes indiquées ne tiennent pas compte des défauts d'entretien quelquefois constatés. Il est rappelé notamment que l'évacuation des eaux doit être bien conçue et, le cas échéant, entretenue durant toute la durée d'utilisation de l'ouvrage, et que le défaut d'entretien ne doit pas être pris en compte à la conception, par exemple en surclassant le niveau d'agressivité de l'environnement.

Point particulier

On considère en général pour un ouvrage enterré que l'influence de l'environnement extérieur (effet du gel sur les parties non enterrées, des sels marins, du salage s'il est appliqué sur l'itinéraire en-dehors de l'ouvrage considéré…) peut se faire sentir jusqu'à une distance de 200 m à partir des têtes, parfois moins ou parfois plus suivant la topographie particulière.
Dans la continuité des autres tableaux on a considéré que les parties enterrées (en contact avec le sol en profondeur) étaient en général protégées du risque de gel, sauf dans les zones de gel sévère, ce qui nécessite d'être vérifié dans le cas d'application considéré.

Tableau 1 - Tranchées couvertes, galeries, casquettes et ouvrages immergés situés en mer ou bord de mer, ou à moins de 100 m de la côte (ou jusqu'à 500 m de la côte, suivant la topographie particulière, lorsque les parties aériennes sont soumises à un risque d'exposition aux embruns)

Parties d'ouvrage	XC	XS	XD		XF		XA
			salage peu fréquent*	salage fréquent*	salage peu fréquent*	salage fréquent*	
Radiers, parties inférieures des caissons enterrés ou immergés							
face inférieure enterrée	XC2	XS1	-	-	-	-	selon analyse sol et eau
face inférieure d'un caisson immergé	XC1	XS2	-	-	-	-	***
face supérieure du radier, à proximité des têtes**	XC3	XS3	-	XD3	XF1	XF2	-
face supérieure du radier, section courante loin des têtes**	XC3	XS1	-	XD1	XF1	XF1	-
Piédroits (voiles, parois moulées, poteaux, face verticale des caissons), murs des trémies d'accès							
partie enterrée des piédroits, face côté terrain des voiles, parois moulées, murs des trémies	XC2	XS1	-	-	-	-	selon analyse sol et eau
faces extérieures et extrados des caissons immergés	XC1	XS2	-	-	-	-	***
face intérieure des murs des trémies, poteaux ; face intérieure des piédroits, face aérienne des voiles, parois moulées à proximité des têtes **	XC4	XS3	-	XD3	XF1	XF2	-
face intérieure des caissons immergés ; face intérieure des piédroits, face aérienne des voiles, parois moulées en section courante loin des têtes **	XC3	XS1	-	XD1	XF1	XF1	-
Traverse (casquette, dalle de couverture, voûte, face supérieure des caissons, poutres des tranchées semi-couvertes)							
poutres des galeries et tranchées semi-couvertes ; côté intrados des dalles et voûtes à proximité des têtes **	XC4	XS3	-	XD3	XF1	XF2	-
côté intrados des dalles et voûtes en section courante loin des têtes **	XC3	XS1	-	XD3	XF1	XF2	-
extrados enterré des casquettes, voûtes et dalles de couverture	XC2	XS1	-	-	-	-	selon analyse sol et eau
extrados aérien des casquettes, voûtes et dalles de couverture	XC4	XS3	-	selon salage environnant	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	-

* Le salage est considéré comme « peu fréquent » lorsque la moyenne annuelle du nombre de jours de salage estimée sur les 10 dernières années est inférieure à 10, « très fréquent » lorsqu'elle est supérieure ou égale à 30, et « fréquent » entre ces deux cas. En application de la norme NF EN 1992-2 et de son annexe nationale, les parties extérieures d'ouvrages situées à moins de 6 m (horizontalement ou verticalement) d'une chaussée salée sont réputées (très) exposées aux projections de sels de déverglaçage. Quelle que soit la fréquence de salage des routes et la zone géographique, certaines parties peuvent ne pas être exposées, on considèrera alors la colonne « salage peu fréquent ».
****** On considère en général pour un ouvrage enterré que l'influence de l'environnement extérieur (effet du gel sur les parties non enterrées, des sels marins, du salage s'il est appliqué sur l'itinéraire en-dehors de l'ouvrage considéré…) peut se faire sentir jusqu'à une distance de 200 m à partir des têtes, parfois moins ou parfois plus suivant la topographie particulière.
*** En France, pour éviter l'attaque chimique du matériau béton dans le cas particulier de l'exposition à l'eau de mer, il est admis par le fascicule FDP 18-011, appelé par la norme NF EN 206-1, d'appliquer les prescriptions de composition de la classe XS1 (parties exposées à l'air véhiculant du sel marin et, par interprétation de la norme, à l'infiltration des chlorures marins pour les parties enterrées), XS2 (béton immergé en permanence) ou XS3 (béton en zone de marnage et d'exposition aux embruns) des tableaux NAF 1 ou 2 de la norme NF EN 206-1, que l'élément de béton soit armé ou non, et non les prescriptions de composition de la classe XA3 qui résulteraient de l'application du tableau 2 de la norme NF EN 206-1. Pour le cas d'ouvrages au contact d'eau de mer polluée ou mélangée à d'autres eaux de surface, par exemple, une analyse est à effectuer au cas par cas vis-à-vis des attaques chimiques possibles.

Tableau 2 – Tranchées couvertes, galeries, casquettes et ouvrages immergés situés à moins de 1 km de la côte (ou jusqu'à 5 km de la côte, suivant la topographie particulière) lorsque les parties aériennes de ces ouvrages sont exposées à un air véhiculant du sel marin, mais pas directement aux embruns

Parties d'ouvrage	XC	XS	XD		XF		XA
			salage peu fréquent*	salage fréquent*	salage peu fréquent*	salage fréquent*	
Radiers, parties inférieures des caissons enterrés ou immergés							
face inférieure enterrée	XC2	-	-	-	-	-	selon analyse sol et eau
face inférieure d'un caisson immergé	XC1	XS2		-	-	-	***
face supérieure du radier, à proximité des têtes**	XC3	XS1	-	XD3	XF1	XF2	-
face supérieure du radier, section courante loin des têtes**	XC3	-	-	XD1	XF1	XF1	-
Piédroits (voiles, parois moulées, poteaux, face verticale des caissons), murs des trémies d'accès							
partie enterrée des piédroits, face côté terrain des voiles, parois moulées, murs des trémies	XC2	-	-	-	-	-	selon analyse sol et eau
faces extérieures et extrados des caissons immergés	XC1	XS2	-	-	-	-	***
face intérieure des murs des trémies, poteaux ; face intérieure des piédroits, face aérienne des voiles, parois moulées à proximité des têtes **	XC4	XS1	-	XD3	XF1	XF2	-
face intérieure des caissons immergés ; face intérieure des piédroits, face aérienne des voiles, parois moulées en section courante loin des têtes **	XC3	-	-	XD1	XF1	XF1	-
Traverse (casquette, dalle de couverture, voûte, face supérieure des caissons, poutres des tranchées semi-couvertes)							
poutres des galeries et tranchées semi-couvertes ; côté intrados des dalles et voûtes à proximité des têtes **	XC4	XS1	-	XD3	XF1	XF2	-
côté intrados des dalles et voûtes en section courante loin des têtes **	XC3	-	-	XD3	XF1	XF2	-
extrados enterré des casquettes, voûtes et dalles de couverture	XC2	-	-	-	-	-	selon analyse sol et eau
extrados aérien des casquettes, voûtes et dalles de couverture	XC4	XS1	-	selon salage environnant	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	-

* Le salage est considéré comme « peu fréquent » lorsque la moyenne annuelle du nombre de jours de salage estimée sur les 10 dernières années est inférieure à 10, « très fréquent » lorsqu'elle est supérieure ou égale à 30, et « fréquent » entre ces deux cas. En application de la norme NF EN 1992-2 et de son annexe nationale, les parties extérieures d'ouvrages situées à moins de 6 m (horizontalement ou verticalement) d'une chaussée salée sont réputées (très) exposées aux projections de sels de déverglaçage. Quelle que soit la fréquence de salage des routes et la zone géographique, certaines parties peuvent ne pas être exposées, on considèrera alors la colonne « salage peu fréquent ».

****** On considère en général pour un ouvrage enterré que l'influence de l'environnement extérieur (effet du gel sur les parties non enterrées, des sels marins, du salage s'il est appliqué sur l'itinéraire en-dehors de l'ouvrage considéré…) peut se faire sentir jusqu'à une distance de 200 m à partir des têtes, parfois moins ou parfois plus suivant la topographie particulière.

*** En France, pour éviter l'attaque chimique du matériau béton dans le cas particulier de l'exposition à l'eau de mer, il est admis par le fascicule FDP 18-011, appelé par la norme NF EN 206-1, d'appliquer les prescriptions de composition de la classe XS1 (parties exposées à l'air véhiculant du sel marin et, par interprétation de la norme, à l'infiltration des chlorures marins pour les parties enterrées), XS2 (béton immergé en permanence) ou XS3 (béton en zone de marnage et d'exposition aux embruns) des tableaux NAF 1 ou 2 de la norme NF EN 206-1, que l'élément de béton soit armé ou non, et non les prescriptions de composition de la classe XA3 qui résulteraient de l'application du tableau 2 de la norme NF EN 206-1. Pour le cas d'ouvrages au contact d'eau de mer polluée ou mélangée à d'autres eaux de surface, par exemple, une analyse est à effectuer au cas par cas vis-à-vis des attaques chimiques possibles.

Tableau 3 - Tranchées couvertes, galeries, casquettes et ouvrages immergés situés à l’intérieur des terres en zone de gel faible ou modéré

Parties d'ouvrage	**XC**	**XS**	**XD**			**XF**			**XA**
			salage peu fréquent*	**salage fréquent***	**salage très fréquent***	**salage peu fréquent***	**salage fréquent***	**salage très fréquent***	
Radiers, parties inférieures des caissons enterrés ou immergés									
face inférieure enterrée	XC2	-	-	-	-	-	-	-	selon analyse sol et eau
face inférieure d’un caisson immergé	XC1	-		-	-	-	-	-	selon analyse de l’eau
face supérieure du radier, à proximité des têtes**	XC3	-	-	XD3	XD3	XF1	XF2	XF2	-
face supérieure du radier, section courante loin des têtes**	XC3	-	-	XD1	XD1, XD3 selon exploitation	XF1	XF1	XF1	-
Piédroits (voiles, parois moulées, poteaux, face verticale des caissons), murs des trémies d’accès									
partie enterrée des piédroits, face côté terrain des voiles, parois moulées, murs des trémies	XC2	-	-	-	-	-	-	-	selon analyse sol et eau
faces extérieures et extrados des caissons immergés	XC1	-	-	-	-	-	-	-	selon analyse de l’eau
face intérieure des murs des trémies, poteaux ; face intérieure des piédroits, face aérienne des voiles, parois moulées à proximité des têtes **	XC4	-	-	XD3	XD3	XF1	XF2	XF2, XF4 si très exposé aux sels	-
face intérieure des caissons immergés ; face intérieure des piédroits, face aérienne des voiles, parois moulées en section courante loin des têtes **	XC3	-	-	XD1	XD1, XD3 selon exploitation	XF1	XF1	XF1	-
Traverse (casquette, dalle de couverture, voûte, face supérieure des caissons, poutres des tranchées semi-couvertes)									
poutres des galeries et tranchées semi-couvertes ; côté intrados des dalles et voûtes à proximité des têtes **	XC4	-	-	XD3	XD3	XF1	XF2	XF2, XF4 si très exposé aux sels	-
côté intrados des dalles et voûtes en section courante loin des têtes **	XC3	-	-	XD1	XD1	XF1	XF1	XF1	-
extrados enterré des casquettes, voûtes et dalles de couverture	XC2	-	-	-	-	-	-	-	selon analyse sol et eau
extrados aérien des casquettes, voûtes et dalles de couverture	XC4	-	-	selon salage environnant	selon salage environnant	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	XF1	-

* Le salage est considéré comme « peu fréquent » lorsque la moyenne annuelle du nombre de jours de salage estimée sur les 10 dernières années est inférieure à 10, « très fréquent » lorsqu’elle est supérieure ou égale à 30, et « fréquent » entre ces deux cas. En application de la norme NF EN 1992-2 et de son annexe nationale, les parties extérieures d'ouvrages situées à moins de 6 m (horizontalement ou verticalement) d'une chaussée salée sont réputées (très) exposées aux projections de sels de déverglaçage. Quelle que soit la fréquence de salage des routes et la zone géographique, certaines parties peuvent ne pas être exposées, on considèrera alors la colonne « salage peu fréquent ».
****** On considère en général pour un ouvrage enterré que l’influence de l’environnement extérieur (effet du gel sur les parties non enterrées, des sels marins, du salage s’il est appliqué sur l’itinéraire en-dehors de l’ouvrage considéré…) peut se faire sentir jusqu’à une distance de 200 m à partir des têtes, parfois moins ou parfois plus suivant la topographie particulière.

Tableau 4 - Tranchées couvertes, galeries, casquettes et ouvrages immergés situés à l'intérieur des terres en zone de gel sévère

Parties d'ouvrage	XC	XS	XD			XF			XA
			salage peu fréquent*	salage fréquent*	salage très fréquent*	salage peu fréquent*	salage fréquent*	salage très fréquent*	
Radiers, parties inférieures des caissons enterrés ou immergés									
face inférieure enterrée	XC2	-	-	-	-	XF3	XF3	XF3	selon analyse sol et eau
face inférieure d'un caisson immergé	XC1	-		-	-	-	-	-	selon analyse de l'eau
face supérieure du radier, à proximité des têtes**	XC3	-	-	XD3	XD3	XF3	XF4	XF4	-
face supérieure du radier, section courante loin des têtes**	XC3	-	-	XD1	XD1, XD3 selon exploitation	XF3	XF3	XF3	-
Piédroits (voiles, parois moulées, poteaux, face verticale des caissons), murs des trémies d'accès									
partie enterrée des piédroits, face côté terrain des voiles, parois moulées, murs des trémies	XC2	-	-	-	-	XF3	XF3	XF3	selon analyse sol et eau
faces extérieures et extrados des caissons immergés	XC1	-	-	-	-	-	-	-	selon analyse de l'eau
face intérieure des murs des trémies, poteaux ; face intérieure des piédroits, face aérienne des voiles, parois moulées à proximité des têtes **	XC4	-	-	XD3	XD3	XF3	XF4	XF4	-
face intérieure des caissons immergés ; face intérieure des piédroits, face aérienne des voiles, parois moulées en section courante loin des têtes **	XC3	-	-	XD1	XD1, XD3 selon exploitation	XF3	XF3	XF3	-
Traverse (casquette, dalle de couverture, voûte, face supérieure des caissons, poutres des tranchées semi-couvertes)									
poutres des galeries et tranchées semi-couvertes ; côté intrados des dalles et voûtes à proximité des têtes **	XC4	-	-	XD3	XD3	XF3	XF4	XF4	-
côté intrados des dalles et voûtes en section courante loin des têtes **	XC3	-	-	XD1	XD1	XF3	XF3	XF3	-
extrados enterré des casquettes, voûtes et dalles de couverture	XC2	-	-	-	-	XF3	XF3	XF3	selon analyse sol et eau
extrados aérien des casquettes, voûtes et dalles de couverture	XC4	-	-	selon salage environnant	selon salage environnant	XF3, XF4 selon salage environnant	XF3, XF4 selon salage environnant	XF3, XF4 selon salage environnant	-

* Le salage est considéré comme « peu fréquent » lorsque la moyenne annuelle du nombre de jours de salage estimée sur les 10 dernières années est inférieure à 10, « très fréquent » lorsqu'elle est supérieure ou égale à 30, et « fréquent » entre ces deux cas. En application de la norme NF EN 1992-2 et de son annexe nationale, les parties extérieures d'ouvrages situées à moins de 6 m (horizontalement ou verticalement) d'une chaussée salée sont réputées (très) exposées aux projections de sels de déverglaçage. Quelle que soit la fréquence de salage des routes et la zone géographique, certaines parties peuvent ne pas être exposées, on considèrera alors la colonne « salage peu fréquent ».
****** On considère en général pour un ouvrage enterré que l'influence de l'environnement extérieur (effet du gel sur les parties non enterrées, des sels marins, du salage s'il est appliqué sur l'itinéraire en-dehors de l'ouvrage considéré…) peut se faire sentir jusqu'à une distance de 200 m à partir des têtes, parfois moins ou parfois plus suivant la topographie particulière.

Tableau 5 – Prévention de la réaction sulfatique interne
Toutes tranchées couvertes, galeries, casquettes et tous ouvrages immergés indépendamment de leur situation géographique

Parties d'ouvrage	XH (prévention RSI)	Niveau de prévention RSI	
		Ouvrage courant (de catégorie II)	Ouvrage exceptionnel (de catégorie III)
Radiers, parties inférieures des caissons enterrés ou immergés			
face inférieure enterrée	XH3	Cs	Ds
face inférieure d'un caisson immergé	XH3	Cs	Ds
face supérieure du radier, à proximité des têtes**	XH3	Cs	Ds
face supérieure du radier, section courante loin des têtes**	XH3	Cs	Ds
Piédroits (voiles, parois moulées, poteaux, face verticale des caissons), murs des trémies d'accès			
partie enterrée des piédroits, face côté terrain des voiles, parois moulées, murs des trémies	XH3	Cs	Ds
faces extérieures et extrados des caissons immergés	XH3	Cs	Ds
face intérieure des murs des trémies, poteaux ; face intérieure des piédroits, face aérienne des voiles, parois moulées à proximité des têtes **	XH2	Bs	Cs
face intérieure des caissons immergés ; face intérieure des piédroits, face aérienne des voiles, parois moulées en section courante loin des têtes **	XH2	Bs	Cs
Traverse (casquette, dalle de couverture, voûte, face supérieure des caissons, poutres des tranchées semi-couvertes)			
poutres des galeries et tranchées semi-couvertes ; côté intrados des dalles et voûtes à proximité des têtes **	XH2	Bs	Cs
côté intrados des dalles et voûtes en section courante loin des têtes **	XH2	Bs	Cs
extrados enterré des casquettes, voûtes et dalles de couverture	XH3	Cs	Ds
extrados aérien des casquettes, voûtes et dalles de couverture	XH2	Bs	Cs

****** On considère en général pour un ouvrage enterré que l'influence de l'environnement extérieur (effet du gel sur les parties non enterrées, des sels marins, du salage s'il est appliqué sur l'itinéraire en-dehors de l'ouvrage considéré…) peut se faire sentir jusqu'à une distance de 200 m à partir des têtes, parfois moins ou parfois plus suivant la topographie particulière.